

苏联高等与中等专业教育部批准为
桥梁与隧道专业教材

桥 渡

〔苏联〕 И.С.罗坚布尔格
В.С.沃利诺夫 М.П.波利亚科夫

合 著

陆 浩、曹瑞章 合译

孙 振 东 校

人 民 交 通 出 版 社

苏联高等与中等专业教育部批准为
桥梁与隧道专业教材

桥 渡

[苏联]И.С.罗坚布尔格

В.С.沃利诺夫

М.П.波利亚科夫

合 著

陆 浩、曹瑞章 合译

孙文振、孙文校

人 民 交 通 出 版 社

1 9 8 0 · 北 京

内 容 提 要

本书系根据苏联 И.С. 罗坚布尔格所著 “Мостовые переходы” 莫斯科高等学校出版社 1977 年版本译出 4、5、6 三章。内容包括水文计算、水力计算以及桥孔的决定与计算。原书经苏联高等与中等专业教育部批准为桥梁与隧道专业的教材。译本可作我国各大专院校桥梁与隧道专业的参考书。

桥 渡

〔苏联〕И.С. 罗坚布尔格 В.С. 沃利诺夫

М.П. 波利亚科夫 合著

陆浩、曹瑞章 合译

孙振东 校

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{4}$ 印张：5.25 字数：117 千

1980年8月 第1版

1980年8月 第1版 第1次印刷

印数：0001—4,300 册 定价：0.58元

译者序言

《桥渡》一书系1978年苏联 Н.С. 罗坚布尔格的新著。全书共十章，内容包括河道变形与水流运动基本规律、桥渡勘测设计，水文水力与冲刷计算、桥孔与桥头引堤设计、调治建筑物与路堤防护，以及桥渡的技术经济比较方案等。这里摘译三章，即：第四章（水文计算）、第五章（水力计算）和第六章（桥孔的决定与计算）中4~8节。摘译的部分对苏联1972年公布的《铁路公路桥渡勘测设计规程》有关水文、水力与孔径计算各章节，进行了比较详尽的论述，同时还对计算方法的发展和改进，提出了一些带有方向性的建议。摘译的内容反映了苏联七十年代桥渡勘测设计的新水平。

为促使我国公路与铁路桥渡设计工作能尽快地赶上国际水平，我们特将原书择优摘译以便提供桥渡科研、设计和施工部门参考，同时也为公路与铁路高等院校桥隧专业，以及水利高等院校有关水文计算、水工设计和河道整治等专业提供一本必要的参考资料。

由于我们的水平不高，谬误在所难免，敬请读者多加批评指正。

译者

1979年7月

目 录

第四章 水文计算	1
§IV.1 桥渡设计中水文计算任务与方法.....	1
§IV.2 最大流量与水位系列的统计整理.....	4
§IV.3 按水力学法、相似法及成因法确定 最大流量.....	19
§IV.4 绘制流量过程线.....	28
§IV.5 流量和水面由一个断面换算到另一个断面.....	34
§IV.6 确定计算通航水位.....	38
§IV.7 确定枯水位和施工水位及规定冰块厚度.....	41
§IV.8 确定风浪高度及其在建筑物斜坡上的爬高	44
第五章 水力计算	51
§V.1 高水泛滥期间河流的基本水力参数.....	52
§V.2 桥渡水流压缩程度。流量沿河宽的分配.....	53
§V.3 桥渡压缩水流图型.....	58
§V.4 压缩断面水位。桥头引堤后水位变化的确定	68
§V.5 桥渡上游的水流运动.....	72
§V.6 壅水值的确定.....	88
第六章 桥孔的决定与计算	100
§VI.4 根据洪水过程线计算桥下河底一般冲刷.....	100
§VI.5 桥下河底一般冲刷的近似计算.....	120

§ VI.6 桥墩周围局部冲刷计算.....	130
§ VI.7 桥孔中河底冲刷计算高程的决定.....	138
§ VI.8 多座桥孔的决定与计算.....	142
附 录.....	153
参考文献.....	159

第四章 水文计算

§ IV .1 桥渡设计中水文计算

任务与方法

大河桥渡是大型工程建筑物，它的使用年限为 50~100 年或更长一些时间，因此在桥渡设计时必须预见可能通过建筑物的稀遇机率的洪水，只有这样才可以保证桥渡在整个使用年限内的正常条件。

桥渡设计中的水文计算，包括各种不同的课题，就是：确定计算超越机率的 Q 最大流量；决定河流的计算水位；绘制流量 Q 与水位 z 关系曲线 $Q=f(z)$ ；绘制流量 Q 与时间 t 关系的计算流量过程线 $Q=f(t)$ ；绘制水位 z 与时间 t 的水位过程线 $z=f(t)$ ；将流量和水位由河流中的这一断面换算到各一断面（例如由水文站断面换算到桥渡断面）；确定河流的特征水位（计算通航水位、枯水位、施工水位及其它）；确定水情特征，特别是决定计算水层厚度；确定波浪的特征值。

建桥前水文站观测的天然资料是水文计算的基本依据。大多数水文站对于河流情况的观测年份都不长，小于桥渡的使用年限，因此在水文计算中，利用外延各种河情特征值保证率曲线到计算超越机率的数理统计方法，整理野外观测资料，得到了广泛的应用。

计算超越频率标准，确定取决于国民经济价值和建筑物投资的道路与桥梁设计中的技术条件。对于铁路桥渡，所述标准比对公路桥渡更为严格。

确定河流的计算超越机率的 Q_{max} 及其相应的计算水位，是水文计算的基本任务之一。桥渡的基本尺寸取决于 Q_{max} 的数值，按照计算水位来规定桥渡各部分的高程。

决定计算超越机率 Q_{max} 、水位及其它河流特征值的方法与河流水文研究的程度有关。在这方面可以把所有的河流划分成两大类。水文研究较好的河流属于第一类。在这些河流上具有长期观测河情的水文站，而水文研究较少或完全没有研究的河流则属于第二类。在这些河流上或者没有水文站或者水文站的观测系列较短。

影响河流 Q_{max} 的有多种因素：气候的因素（降水、蒸发、气温、风及其它）；地形的因素（流域的地貌、形状和大小）；水文地理的因素（湖泊、沼泽、河网密度）；植被特征；土壤地质条件；人类经济活动的影响（植林、林木砍伐、排干沼泽、兴建水库等）。

在同一气候区中气象条件也是不一样的，因而河流的 Q_{max} 也是逐年在变化的。在这一些年分中，气象条件的综合使 Q_{max} 具有很大的价值，而在另一些年分中价值则很小。因此 Q_{max} 是属于数值变化带有随机性质的那种水文值。从这种意义上说可以明瞭，预言下一年和更远的年分发生具有某种数值的 Q_{max} 是不可能的。不过， Q_{max} 的变化还具有某种规律性，其规律性在于同样起因的 Q_{max} ，例如春洪，符合大数定律。那对于一定的河流断面， Q_{max} 的平均值实际上是固定的，它与观测的年限无关。

因为河流的年 Q_{max} 是一系列数值互不相关的随机量，所以对它们的研究广泛采用建立在机率理论基础上的数

理统计方法。借助这种方法可以确定某种数值的最大流量出现的机率及确定超越给定机率的流量。由此，最大流量就从偶然意外现象的范畴转变到可以预料和预告现象的范畴。不过，还应当记住，数理统计方法可能确定某种数值的最大流量出现的机率，却不能确定究竟在何时（某年）出现这一流量。

苏联三十年代在桥渡设计中用数理统计方法确定计算流量是根据 E·B·鲍耳达柯夫的倡导。在此之前，计算流量采用的是和最高观测水位—历史最高水位(ВНГ)相应的流量。

为用数理统计法确定计算超越机率的流量和水位，必须具有多年的流量、水位观测资料。在有多年的观测资料的情况下，这个方法不仅可以确定计算流量和水位，而且还可以用来确定计算通航水位、枯水位、施工水位、计算冰层厚度及其它水流特征值。

对于在水文方法研究不够充分或者完全没有研究的河流，计算流量和水位可用间接的方法来确定。

在桥渡设计实践中，广泛采用相似法（或称为比拟法——译者）。在该法中，计算所需的河流特征值按与其相似的另外的河流来决定。这些河流与计算河流处在相似的物理-地理条件下，并具有多年的野外观测资料。

综合按相似法整理野外观测资料的结果，使很多研究者得到所谓成因公式。对研究较少或没有研究的河流用这些公式可以确定其春洪和雨洪的计算流量。

当仅有水位的观测资料时，给定超越机率的流量通常按河流的断面形态特征和纵比降，根据舍齐公式用水力学方法来确定。河流断面上各部分的糙率系数值由桥渡河段勘测期间的查勘资料定出。

§ IV.2 最大流量与水位系列的 统计整理

表IV.1根据《铁路、公路桥渡勘测设计规程》(НИМП-72)的建议,列出了桥梁、河滩路堤和导流建筑物设计最大流量的超越机率值。

计算流量超越机率表

表IV.1

道路上的桥梁			
铁 路 的		公 路 的 和 城 市 的	
道 路 等 级	计 算 超 越 机 率, %	道 路 等 级	计 算 超 越 机 率, %
I 和 II 级普通线路 低于 II 级的普通线 路和全部的工业企 业线路	1	I—III 级普通线路	1
	2	低于 III 级的普通线 路和全部工业企业 线路	2
		桥孔大于100米时桥 梁与道路等级无关	1

各级铁路桥梁、河滩路堤和调节建筑物均按通过超越机率为0.33%的洪水流量及其相应的水位来考虑。

在最大流量和水位系列的统计整理中广泛采用分布曲线和保证率曲线。我们清楚, 这些曲线仅在具有长系列的观测资料时才能绘制。

设河流某断面 $n = 80$ 年的最大流量为 $Q_1, Q_2, Q_3, \dots$

Q_{80} , 这些流量的算术平均值 $Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}$ ①, 模量系数

● 从公式 (IV.2) 看, 原文排印有误——译者。

$K_i = Q_i/Q_0$, 其变化范围由 0.19 ~ 2.01。这些系数值按 0.5 的间隔分组递减排列 (表 IV.2 第 1 栏), 在表的第 2 栏中列出了每组的项数, 这些数字是以年分表示的或者是以年组项数的重现期表示的, 第 3 栏中重现期是以总项数的百分数表示的。例如, 模量系数 $K_i = 0.99 \sim 0.5$, 在 80 年的时间内重现 36 次, 为 80 年的 45%。

根据第 1 栏和第 2 栏 (或第 3 栏) 列出的基本数据, 可以绘制重现期梯形图或模量系数机率图 (图 IV.1 中画有细斜线的部分), 这张图在无限减小分组间隔和增大项数的情况下便成为一条曲线, 称为分布曲线或者机率曲线。

如果把第 2 栏的数字逐次累加 (即 4; $4+6=10$; $10+8=18$ 等), 第 3 栏的数字累加 (即 5; $5+7=12$; $12+10=22$ 等), 则得到第四栏和第 5 栏所列的数字, 它们表示年保证率或第 1 栏模量系数的加权百分数。例如, 模量系数 $K_i = 2.00$ 的保证率是 10 年或者 12%, 它意味着在 80 年中会有 10 次模量系数值不小于 2.00。

根据野外观测资料绘制机率和保证率曲线 表 IV.2

模量系数, K_i	机 率 (重现期)		保 证 率	
	年	%	年	%
1	2	3	4	5
2.81—2.50	4	5	4	5
2.49—2.00	6	7	10	12
1.99—1.50	8	10	18	22
1.49—1.00	19	24	37	46
0.99—0.50	36	45	73	91
0.49—0.19	7	9	80	100
总 计	80	100	—	—

按第 1 及 4 (或 5) 栏的数字可绘得折线 (图 IV.1)。

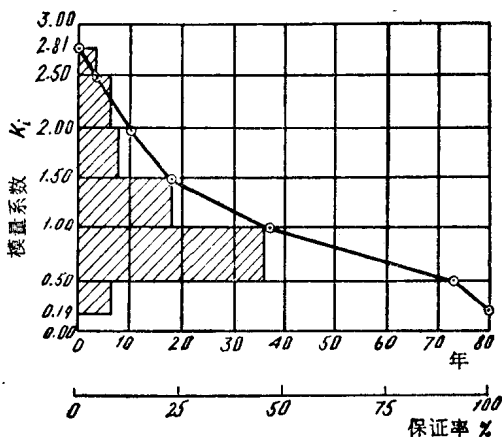


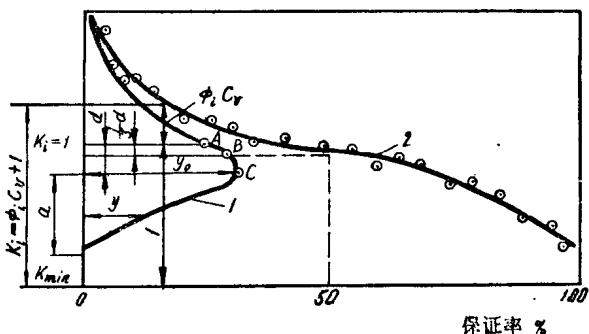
图 IV.1 根据野外观测资料绘制机率 and 保证曲线

该线在无限减小间隔和增大项数的情况下成为曲线，称为保证率曲线。

由上可见，保证率曲线是分布曲线的积分，由保证率曲线可求得模量系数的保证年数或者保证率百分数，或者还可以确定模量系数，因而也可确定相应于给定保证率的最大流量。

通常最大流量的观测系列都比较短，因而绘制相应于桥渡全部服务年限（50~100年）的分布曲线是不可能的。在这些情况下，要采用专门绘制的理论分布曲线，该曲线可以用来确定超出观测系列范围的稀遇机率的流量。

从1930年开始，根据 Л.П. 索科洛夫斯基的建议，桥渡设计中采用偏态分布的二次曲线（K. 皮尔松 III 型曲线，如图 IV.2 所示）。该曲线是根据复合事件机率分布的二项式定律绘制的。它有限，但没有上限，偏态曲线的上部接近于模量系数的坐标轴，使得有可能把它外延到任何给定的超越机



图IV.2 分布曲线(1)和保证率曲线(2)(小圆点表示经验机率点)

率。不过，这并不意味着可以无限延伸，因为水文现象的特征值是有限值。最大流量观测系列之外曲线允许延伸，是受具体条件下最大可能的流量限制的。偏态分布曲线外延的可靠性随着最大流量观测系列项数的增加而提高，当系列项数很少时，一般不应外延。

图IV.2中也给出了相应于分布曲线的保证率曲线。偏态保证率曲线的上支趋向无限大，而下支在某一末项模量系数处达到100%。

二项式分布曲线有三个特征点(图IV.2)：

1) 分布中心点 A ，相应于系列的算术平均值，而模量系数 $K_i = Q_i/Q_0 = Q_0/Q_0 = 1$ ；

2) 曲线的中值 B ，相应于50%的保证率；

3) 曲线的众值 C ，相应于模量系数的最大频率。

偏态半径 d 是分布曲线的偏态指标，它等于众值和中心点之间的距离；中值和中心点间的距离近似等于 $1/3d$ 。

如偏态半径 $d = 0$ ，则分布曲线变成正态的，此时点 A 、 B 、 C 、重合。

如分布曲线是偏态的，则它的每一支将给出与分布中心偏离不同的立方和。当距分布中心正偏的立方和大于负偏的立方和时，曲线为正偏态，相反的情况下，曲线为负偏态。正偏态时，众数点和中位数点小于分布中心点，如图 IV.2 所示，负偏态时，众数点和中位数点大于分布中心点。

水文现象一般符合偏态分布，最大流量系列通常是正偏态，而最大水位系列一般总是负偏态。

皮尔松 III 型曲线的方程形式如下：

$$y = y_0 e^{-\frac{K}{a}} \left(1 + \frac{K}{a}\right)^{\frac{K}{a}} \quad (\text{IV.1})$$

式中：\$y\$ 和 \$K\$——曲线的坐标（图 IV.2），

\$y_0\$——最大的或者众数的纵坐标，

\$d\$——偏态半径，

\$a\$——众数纵坐标到曲线下支终点间的距离，

\$e\$——自然对数的底。

由二项式分布曲线积分而得的二项式保证率曲线，可用由三个参数确定的方程来表示：系列的算术平均值 \$Q_0\$，系列的变差（不稳定性）系数 \$C\$ 和偏差系数 \$C_s\$。这些参数按已有的观测资料来确定。

系列的算术平均值 \$Q_0\$ 按下式求出

$$Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \quad (\text{IV.2})$$

式中：\$Q_i\$——水文观测系列中序号为 \$i\$ 的最大流量，

\$n\$——观测年份（系列项数）。

一个算术平均值不能足够充分地描述随机量的系列。假使我们令一个含有 \$n\$ 项的最大流量系列，其前一半增加某一

数，而后一半减小某一数，均可使 Q_0 值保持不变，但这时最大流量分布的特征无疑是不一样的。

均方差可用来估计系列变化的差异

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_0)^2}{n-1}} \quad (N.3)$$

由于均方差仅考虑了系列变差的绝对数，因此，还不能用来比较不同系列的变差。为了这种比较，必须除去算术平均值的影响，这可以用均方差除以算术平均值的方法来达到，这样确定的参数，我们称为变差系数

$$C_v = \frac{\sigma}{Q_0} = \frac{1}{Q_0} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_0)^2}{n-1}}$$

但 $Q_i = K_i Q_0$ 所以

$$C_v = \frac{1}{Q_0} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i Q_0 - Q_0)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n-1}} \quad (N.4)$$

当采用的最大流量系列的项数 $n \geq 30$ 时，(N.4)式根号下的 $n-1$ 可用 n 来代替。

变差系数越小，最大流量急剧变化的机率也就越小，根据该观测系列进行的计算也更为可靠。变差系数与流域的几何特征和自然地理特征有关，并受地理分区的影响。

变差系数 C_v 还不能充分说明系列变化的特点，实际上两个具有相同 Q_0 和 C_v 的系列，其 $Q_i - Q_0$ 为正和为负的项数可能不同，亦即有不同的偏态。

系列各项与系列算术平均值的差值的立方和，即

$$\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_0)^3$$

可用以估计系列的偏态情况。为使此值用于比较各种不同 n 和 σ 值的系列，我们将它除以 n 和 σ^3 ，则得到偏差系数

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_0)^3}{n \sigma^3} = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{n C_v^3} \quad (\text{IV.5})$$

偏差系数与变差系数不同，它不受地理分区的影响。

公式 (IV.5) 用于比较实践中经常遇到的短期观测系列时，给出的误差很大。譬如，观测年份 $n=20$ 年，误差为 55%，甚至当 $n=100$ 年时，该误差为 24.5%，因此，偏差系数 C_s 一般用另外的公式来确定。

应当指出，对于皮尔松 III 型曲线，没有必要专门去计算偏差系数，因为 C_s 和 C_v 之间的关系是确定的。当 $K_{\min}=0$ ($K_{\min}=Q_{\min}/Q_0$ ，系列最小模量系数) 时， $C_s=2C_v$ 。这是从二项式分布曲线所确定的关系 $a+d=1=2C_v/C_s$ 导出的。

实践中还可能遇到 $K_{\min}>0$ 的情况 (参看 IV.2)，例如，对于有迳流调节的河流。当 $a+d=1-K_{\min}$ ，则

$$C_s = \frac{2C_v}{(1-K_{\min})} \quad (\text{IV.6})$$

这个公式是由 C.H. 克里茨基和 M.Φ. 缅克利提出的。

由分布曲线方程 (IV.1) 积分，可以得到保证率曲线纵坐标的如下表达式：

$$K_i = \Phi_i C_v + 1 \quad (\text{IV.7})$$

式中： Φ_i ——当 $C_v=1.0$ 时，保证率曲线纵坐标与中值，即与 $K_i=1$ 偏离的系数。

计算超越机率下的最大流量按下式确定之

$$Q = Q_0(\Phi C_v + 1) \quad (\text{IV.8})$$

按公式 (IV.8) 确定计算超越机率下的最大流量, 必须首先编制历年最高水位系列表。在该系列表中应当只包括同一洪水成因 (降雨或者融雪) 相应的水位。在编制最高水位系列表时, 应排除受冰坝的阻塞、其它河流引起的回水、土坝溃决及风波等影响的水位。

编制完历年最高水位系列之后, 按流量曲线 $Q = f(z)$ (图 IV.3) 求出相应于这些水位的最大流量, 因而得到最大流量系列。该流量系列如同水位系列一样, 其洪水成因应当是相同的。

按公式 (IV.2) 确定最大流量系列的算术平均值 Q_0 , 而后按公式 (IV.4) 计算变差系数 C_v 。按公式 (IV.6) 确定偏差系数 C_s , 或者根据《水力特征值计算指南》(CH-435-72) 中的建议采用: 平原河流解冻流量 $C_s = (2.0 \sim 2.5) C_v$; 平原河流降雨流量和受季风影响的山区河流的降雨流量 $C_s = (3 \sim 4) C_v$; 山区河流的流量 $C_s = 4 C_v$ 。

定出参数 Q_0 、 C_v 和 C_s 之后, 按公式 (IV.7) 确定保证率曲线的纵坐标, 并按得到的数据绘制保证率曲线。

为验证所绘制的模量系数理论保证率曲线, 应在该图上标出实际观测的数据。为此, 可用 H.H. 切戈达耶夫公式确定经验超越机率对实际模量系数的百分比

$$p = (m - 0.3)100 / (n + 0.4) \quad (\text{IV.9})$$

式中: p ——模量系数各项的经验超越机率%;

n ——模量系数系列项数;

m ——递减系列中项目位置的顺序号。

按 (IV.9) 式计算的数据标在图上 (图 IV.2 中的小圆点所示)。如这些数据与理论保证率曲线很接近, 则偏差系数 C_s 的选用是正确的。在实际观测资料点与理论保证率曲线